

フィールドセンター北山地区針葉樹林地における航空機ハイパースペクトルリモートセンシングによる森林管理の可能性の検討

著者	矢部 勝也, 米澤 千夏, 國井 大輔, 齊藤 元也, 小田川 信哉
雑誌名	複合生態フィールド教育研究センター報告
巻	28
ページ	13-19
発行年	2013-03
URL	http://hdl.handle.net/10097/00121506

フィールドセンター北山地区針葉樹林地における 航空機ハイパースペクトルリモートセンシングによる森林管理の可能性の検討

矢部 勝也¹・米澤 千夏¹・國井 大輔²・斎藤 元也³・小田川 信哉⁴

Assessment of coniferous forest on FSC using Airborne Hyperspectral Image

Katsuya YABE, Chinatsu YONEZAWA, Daisuke KUNII, Genya SAITO and Shinya ODAGAWA

キーワード：樹種分類，植林年数，間伐強度

1. はじめに

日本は先進国の中で有数の森林大国である。国土面積に占める森林面積は約 66 % であり、森林の約 4 割の 1000 万 ha を人工林が占めている。戦後を中心として造成されたスギやヒノキなどの人工林では、間伐等の施業が必要な育成段階にあり、木材として利用可能となる 50 年以上の高齢級の人工林が年々増加しつつある。これらの人工林は、造林・保育による資源の造成期から間伐や主伐による資源の利用期に移行する段階にあり、資源の循環利用を通じて持続的な森林経営を確立していくことが必要となっている。

しかしながら、日本の林業は森林所有者の施業意欲の低下や林業就業者の減少・高齢化により長期的に停滞している。その原因の一つに採算性の悪化がある。木材価格は 1980 年に最高値を記録した後、現在までに 4 割下落している。これに対し、木材生産にかかるコストである素材生産費や運材費は 1976 年以降しばらく変化なく推移し、最近 10 年間で 3 割程度低減したのみにとどまっている。このため、木材の売上から素材生産費・運材費などの生産コストを差し引いた粗収入は、1980 年の 2 割程度にまで減少している。さらに、主伐による粗収入に比べると間伐の粗収入は少ない（林野庁，2010）。

日本の林業は、植林から伐採までの長期にわたる投資に見合った収入を得ることが困難な状況となっており、採算が合わないという経済的な理由から伐採が手控えられている現状にある。このため、人工林において間伐等の施業が十分に実施されない状況や、伐採しても再び植栽が行われない状況がみられる。その結果、森林の持つ国土保全や水源かん養などの多面的機能の発揮に支障が生じることも懸念されている。

リモートセンシングでは同じ場所を周期的に観測することで植生の生育段階や生育状況などの植生情報を取得し、また観測地の状況を現地に行かなくとも把握することが可

能である。リモートセンシング技術により、作業や移動が困難である山中の植生情報を容易に把握でき、山中の植生情報は要伐採地の選定に役立つことが期待される。

航空機搭載型ハイパースペクトルデータは、衛星マルチスペクトルデータによる土地被覆分類をさらに細分化する情報として位置づけられる。衛星マルチスペクトル観測である陸域観測技術衛星（ALOS）の光学センサ AVNIR-2 による観測では、可視域から近赤外域までの観測波長範囲を 4 バンドに分解し、空間分解能が 10 メートル程度の分光画像を取得する。それに対して、本研究で使用した航空機搭載型ハイパースペクトルセンサ AISA（Airborne Imaging Spectrometer for Applications）Eagle による観測では、可視域から近赤外域までの観測波長範囲を 67 バンドに分解し、1 メートル程度の空間分解能の画像が取得できる。高い波長分解能と高い空間分解能が航空機ハイパースペクトル観測の特徴である。これらの特徴を利用して、植生分類をはじめとした画像分類において、分類項目の細分化が可能であると考えられる。

筆者らはこれまでに 2,200ha の面積を有する東北大学フィールド教育研究センター北山地区を対象としてリモートセンシング技術を用いた植生調査をおこなってきた。植生分布図では、対象地域の土地被覆を針葉樹・広葉樹・草地・水田・畑地ほかに区分している（Namiwa et al., 2009）。ここではさらに、航空機ハイパースペクトルリモートセンシングによる針葉樹林地の樹種分類をおこない、間伐状況および植林年数などの森林管理に必要な詳細な植生状況の把握の可能性を検討した。

2. 解析対象地域と使用データ

1) 解析対象地域

東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター（Field Science Center : FSC）複合陸域生態シ

¹ 東北大学大学院農学研究科，² 農林水産政策研究所，

³ 東京工業大学イノベーション研究推進体，⁴ アジア航測株式会社

ステム部の北山地区は宮城県大崎市西部に位置している。本地区は高地から中間域に森林・草地、低地域に林地・草地さらに耕地がバランス良く配置されている（東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター、2006）。

現在の FSC 北山地区の敷地は 1947 年に東北帝国大学附属川渡農場となる以前に 60 年弱軍馬の育成所として使われており、その当時は大半が野草地で覆われ、広葉樹や針葉樹の占有面積は少なくかつ局在していたようである。しかし、1963 年頃には既に多くの低木の侵入が見られた。1968 年頃には一部で針葉樹の植林が行われ、1970 年以降人工草地の大面積造成とスギを主体とする針葉樹の植林が行われた（西脇、1998）。植林から 40 年程度経過し、木材として利用可能となる人工林となりつつある。これから、間伐や主伐による資源の利用期に移行する段階である。また、対象地域には異なる間伐強度の試験区が設定されている。

FSC 北山地区については、1960 年代に作成された植生ならびに経営計画図、1965 年以前および 1965 年から 1984 年までの 5 年ごとの植林年数が記載された植林図があるが以降の植林の記録は不明である。

2) 現地調査

現地植生を調査し、植生調査データを作成した。GPS を携帯し位置情報を取得しながら、現地植生をデジタルカメラにより撮影した。調査後、GIS (Geographic Information

System) ソフトウェアである ArcGIS を使用し、複数の植生調査データを一つのデータベースとして管理した。

3) 航空機ハイパースペクトル観測

資源・環境観測解析センター（現宇宙システム開発利用推進機構）との共同で、AISA Eagle が 2007 年 7 月 24 日に対象地域を観測したデータを解析した。（株）パスコ社所有の AISA Eagle をセスナに搭載し、FSC 北山地区全体を網羅するよう南北に 13 本、東西に 1 本、計 14 本のコースで観測した（図 1）。AISA Eagle では 400nm~1000nm の波長帯を観測し、観測波長帯を 67 バンドに分解し得られる分光画像データを解析に利用している。スペクトル分解能は 2.9nm であり、空間分解能を 1.5m に設定した。1 飛行での観測幅は 900m である。

4) データ解析

AISA Eagle システム上での幾何補正済みの観測データを、リモートセンシング画像解析ソフトである ERDAS IMAGINE によって画像間の幾何補正をおこなった。幾何補正モデルは 2 次多項式変換 (Polynomial) で、内挿手法は最近隣内挿法 (Nearest Neighbor Method) を用いた。FSC 全体を東西にかけて観測しているコース (c14) は、南北にわたるすべてのコースと重なる部分がある。そのために、c14 を基準として画像間の誤差を解消するために画像間の位置合わせを行った。相互の基準点となる GCP (Geometric Correction Point) を 40 ~ 70 地点配置した。処理後、各画像間の地理情報の誤差を 1 画素以内に抑えることができた。

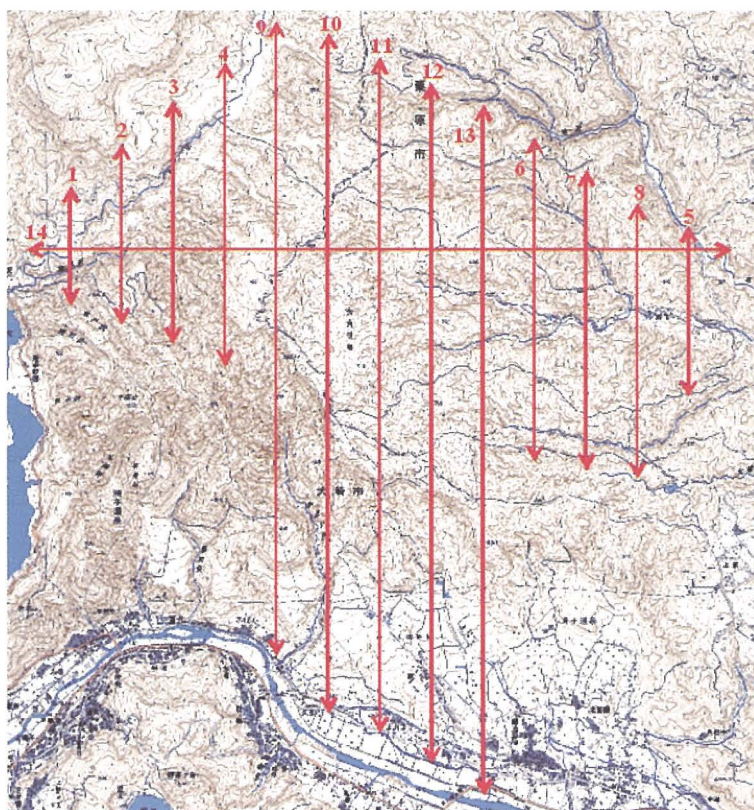


図 1 AISA Eagle による撮影コース

データ解析のフローチャートを図2に示す。衛星マルチスペクトルデータの解析において一般的な教師付き分類である最尤法を用いた土地被覆分類を基本とした。解析したハイパースペクトルデータは67バンドを有しているため、使用するバンドの選定を行った。教師データをもとに教師クラス間の分離度を算出し、土地被覆分類に最適な6バンドの組み合わせを選定した。

分離度はクラス間の分離性の定量的な量であり、教師付き分類を行うときの指標となる。分離度としてバッチャ距離を用いた。バッチャ距離は、リモートセンシング画像解析フリーソフトウェアである MultiSpec を用いて

算出した。最尤法において分類対象の輝度値と、教師クラス間の平均輝度値と分散から算出される尤度が最大となる教師クラスに分類処理が行われる。教師データを教師クラスごと100画素程度設定した。6バンドの組み合わせを選ぶ上で、土地被覆分類において分類カテゴリーを全体的にバランスよく分離し、かつ、分類カテゴリー間が明瞭に分離できるようにした。そこで、各クラス間の分離度の平均値が高い順に50通りの組み合わせを算出した。そしてその中で各クラス間の分離度の最低値が最も高い組み合わせを選定した。

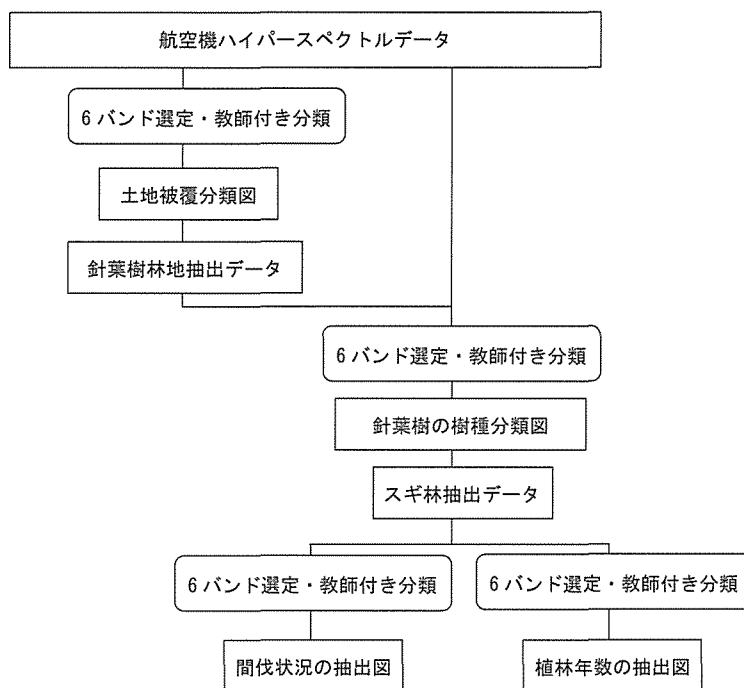


図2 解析の流れ

3. 結果と考察

1) 土地被覆分類

まず、FSC 北山地区全域の土地被覆分類をおこなった。撮影コース上のc11より教師エリアを選択し、すべてのコースをつなぎ合わせた後に分類図を作成した。教師クラスは、針葉樹（スギ）、広葉樹、裸地、草地、建物（人工物）として、教師データをクラスごと100画素程度設定した。MultiSpecを使用した最尤法において、教師領域を設定後、分類図を作成し、明らかに実際の対象と異なるものを新しいクラスとして教師を追加し再分類する手順がおこなわれている（加藤ら、2007）。そのため、分類図作成後、植生調査データと異なる部分を新しいクラスとして追加し再分類した。選定されたバンドを見ると、青色域、緑色域、赤色域、レッドエッジの波長帯から1バンド、近赤外域の波長帯から2バンド選定され、全観測波長帯からバランスよく選定されていることがわかる（表1）。教師クラスの分光

反射特性を図3に示す。デジタル値は、教師領域として設定した領域のデジタル値の平均とした。解析対象物は波長帯ごとに特有の反射強度を示している。例えば、裸地や人工物は全波長帯にて大きな反射強度を、植生は緑色域と近赤外域の波長帯で大きな反射強度を示している。図4にFSC全体の土地被覆分類結果を示す。分類結果にはゴマ塩状に他のクラスのカテゴリ画素が含まれているが、これを抑制するための平滑化処理として7x7ウィンドウの多数決処理を適用した。

2) 針葉樹林の樹種分類

NDVIおよびDVIを用いた解析によっても針葉樹林地の抽出をおこない、ここで針葉樹林とされた地域と比較したところ99.5%の画素が一致したことから、土地被覆分類図から抽出した針葉樹林地を対象として樹種分類をおこなった。

土地被覆分類図による針葉樹林地抽出結果を使用して観

表 1 選定されたバンド

	選定バンド (上段 バンド、下段 波長 (nm))						クラス間の分離度	
							平均値	最低値
土地被覆分類	8	18	29	38	40	49	97.65	23.00
	460.09	545.73	643.43	723.89	741.86	823.93		
針葉樹樹種分類	11	12	21	34	43	58	47.16	15.28
	485.77	494.34	572.17	688.00	769.13	906.08		
間伐状況把握	13	15	39	42	50	60	1.42	0.82
	502.90	520.02	732.88	759.99	833.06	924.42		
植林年数把握	2	8	14	25	48	49	12.28	
	410.02	460.09	511.46	607.76	814.80	823.93		

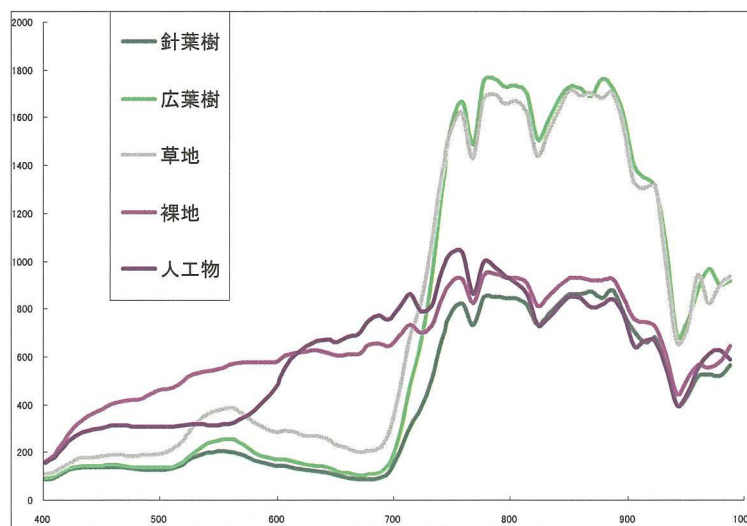


図 3 土地被覆分類における教師クラスの分光反射特性

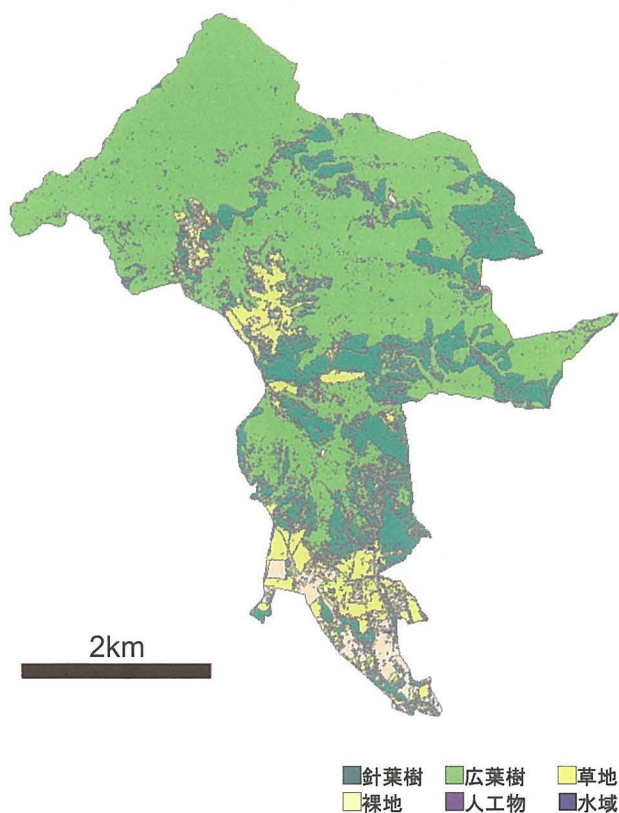


図 4 FSC 北山地区の土地被覆分類

測コース c11 の針葉樹林地抽出画像データを作成した。教師領域を設定し、針葉樹の樹種分類に適したバンドの組み合わせを選定した。教師カテゴリーは、スギ、ヒノキ、マツ、非針葉樹の 4 カテゴリーとした。マスクをかけ針葉樹以外のカテゴリーを除去したが、明らかに草地や広葉樹であると判読できる領域は、非針葉樹として追加した。これは土地被覆分類における誤分類によるものである。表 1 に示した選定された 6 バンドを使用して樹種分類を行った。樹種分類結果を図 5 に示す。樹種分類結果においても画像中に異なる分類区分が散在しているが、これらの単独または数画素の分類を抑制するための平滑化処理として 7×7 ウィンドウの多数決処理を適用した。

3) 間伐状況の把握

異なる間伐強度を設定した試験区を対象に、航空機ハイパースペクトルデータの解析によって間伐強度の把握ができるかどうかを試みた。解析対象地は、33,400m²の面積を有する (図 6 (a))。間伐強度は 3 種類あり、拡大図の左上から、なし (間伐を施していない領域)、弱 (弱度間伐地)、強 (強度間伐地) と交互に設置され、それぞれ 3 箇所の計 9 箇所設置されている。

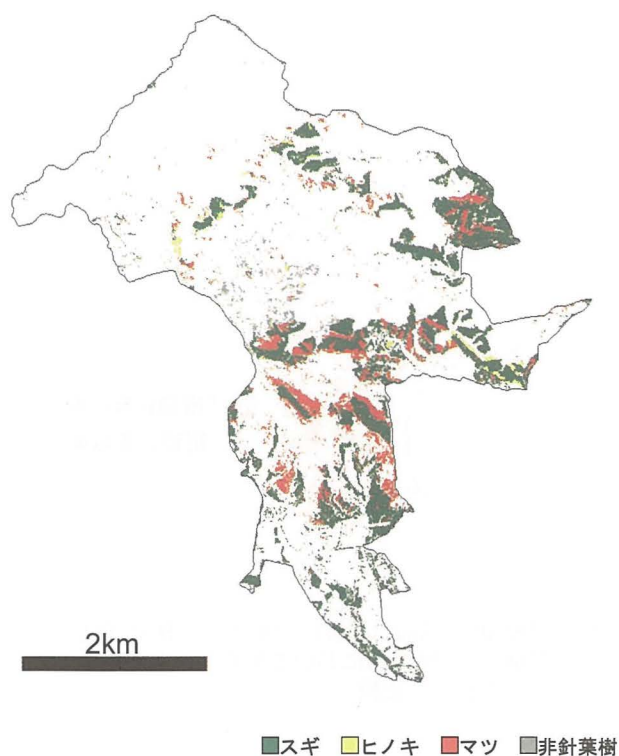


図5 FSC北山地区の針葉樹樹種分類

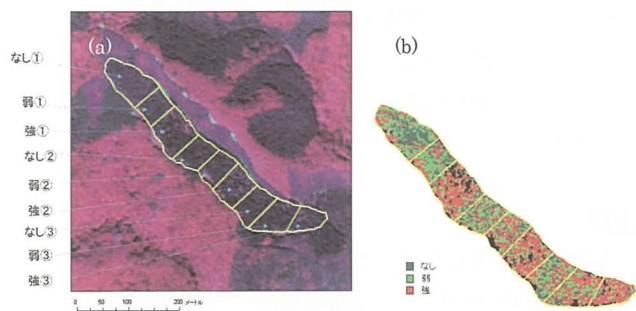


図6 異なる間伐強度を設定した試験区 (a) とハイパースペクトル画像の分類結果 (b)

使用した6バンドを表1に示す。解析対象地は、撮影コースc6, c7上に位置している。c6, c7をモザイク処理し、目視判読によりスギ林である領域のシェイプファイルを手作業で作成した。このシェイプファイルをもとに解析対象地の画像データを作成した。さらに、スギ林抽出マスクによりスギを示す画素を抽出した。間伐強度が異なる3箇所において教師領域を100画素設定し、教師付き分類を試みた。

強度間伐の地点では、黒く表示されデジタル値が0である画素、すなわち、スギと示されない画素が他の地点より多いために間伐が実施されていることが判読できる。解析対象地と解析対象地以外の境界線付近に非スギ画素の分布が確認できるので、解析対象地以外の領域からスギ以外の植生が混入し非スギ画素の割合が高くなったと考えられる。教師領域における分類精度は90.1%であった。強度間伐地

では強度間伐地として分類された画素の割合が多いが、間伐を実施していない領域と弱度間伐地ではあまり違いがない。その原因として、間伐の実施は2003年であり、観測がおこなわれた2007年には弱度間伐地の樹冠の大部分がスギで再び覆われてしまったことが影響していると推察される。教師領域における分光反射特性を図7に示す。図7より、すべての観測波長帯においてなしと弱は分光反射特性が類似しているが、強は780~810nmおよび850~900nmの波長帯において他の2つに比べて反射強度が低いことを示す部分があるので強度間伐地のみ分類できることが考えられる。

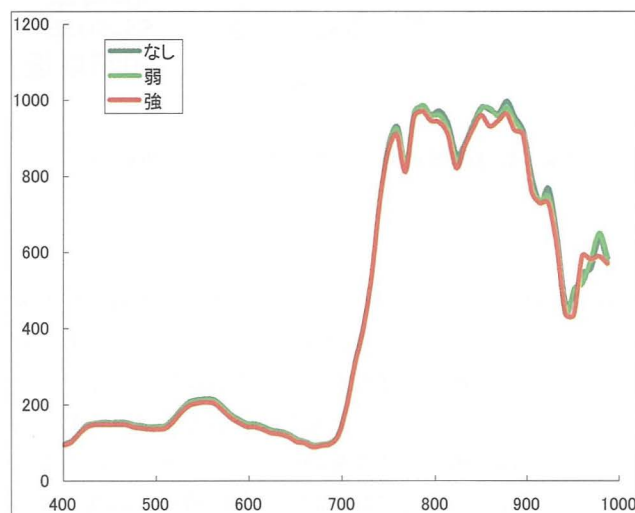


図7 間伐強度の違いに基づいた分類における教師クラスの分光反射特性

4) 植林年数の把握

航空機ハイパースペクトル観測による植林年数把握の可能性について検討した。本研究で作成した樹種分類図（以後、樹種分類図は本研究で作成した樹種分類図を示す）から既存の植林図に示された領域以外にもスギ林が存在していることが判読できる。これは、昭和60年に降に植林された領域があることを示している。

観測コースc11は45~49年に植林された領域以外のすべての植林年数の領域を含むコースである。対象樹種をスギとして、c11のスギ林を樹種分類図を用いて抽出し植林年数ごとの教師領域を設定し、使用バンドを選定した（表1）。バンド選定に用いた教師領域は、昭和40年以前と40~44年に植林された領域である。その後、FSC全体を解析した。

図8に植林年数ごとの教師クラスによる分類結果を示す。植林図を現地の森林状況を表す指標として活用した。分類結果と植林図による植林年数との対応は芳しくなかった。リモートセンシングでは、現状の量的または質的な植生情報を分光反射特性により土地被覆分類に利用している。植

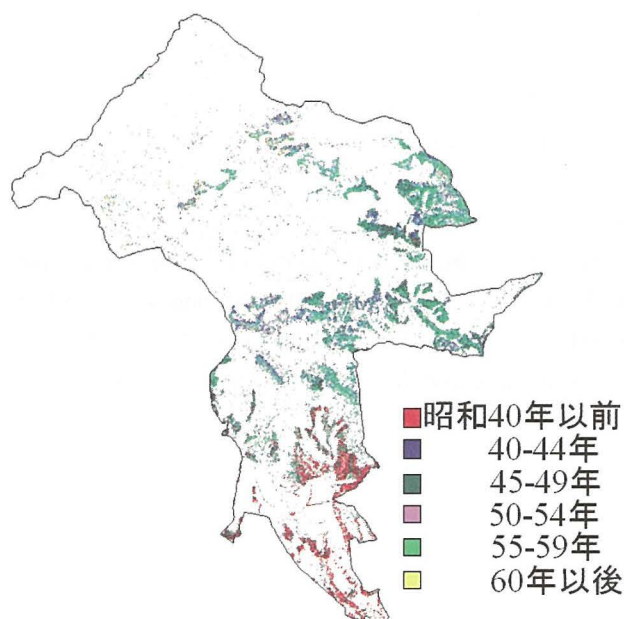


図 8 植林年数に基づいた分類 (平滑化処理前)

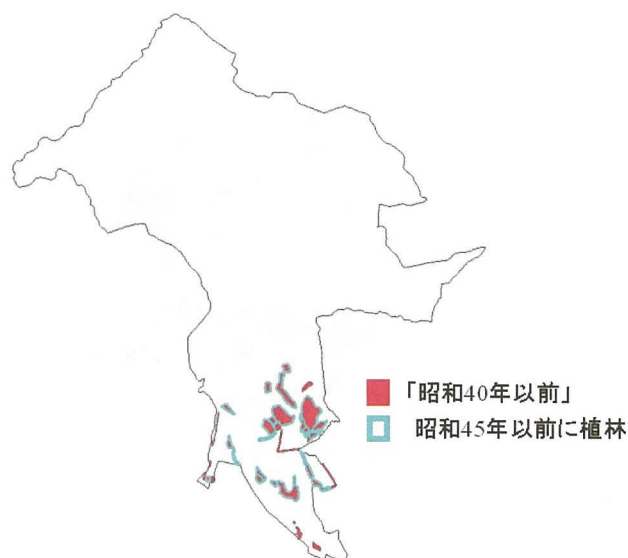


図 9 昭和 40 年以前の植林に分類された林分 (「昭和 40 年以前」) と植林図において昭和 45 年以前植林と記載された林分の比較

林後の森林管理や気象条件によって人工林の生育環境が異なり、植生の質的および量的特徴に差が出ることが考えられる。さらに、森林管理が不定期で生育環境が一定でなければその差も大きくなることが推測される。植林年数が古ければ古いほど植生の活性量が低下する、または、増加するとは限らない。植生の質的および量的特徴に影響を及ぼす情報を航空機ハイパースペクトル観測の解析に反映させることが必要である。森林管理や生育環境の変化に関する情報を蓄積することで植林年数の推定が期待できる。

ただし、航空機ハイパースペクトルデータ解析によって昭和 40 年以前に分類された領域 (以下、「昭和 40 年以前」とする) においては、既存の植林図で昭和 45 年以前に植林された領域と対応しているように判読できる。そこで、「昭和 40 年以前」を抽出し、植林図と分類結果を比較した。植林図をポリゴン化し、「昭和 40 年以前」に対応した植林図の領域ポリゴンを作成した。「昭和 40 年以前」に対応する領域は、植林図より実際に昭和 45 年以前に植林されていた領域とよく一致した (図 9)。

昭和 45 年以前に植林された領域の特徴について検討した。昭和 45 年以前に植林された人工林は植生の活性が強くなっていると考えられる。林齢と葉量について、「林齢が 20 ~ 25 年頃まで林齢とともに葉量が増加するが、その後 40 年頃まではやや低い値を保ちつづけ、ふたたび増加する傾向がある」と安藤らが報告している (安藤ら, 1968)。植生の活性を葉量として捉えるならば、植林年数による分光反射特性の違いは安藤らの報告内容と一致している。本研究では植林年数が異なる林分ごとの分光反射特性の違いを土地被覆分類に利用しているので、昭和 45 年

以前に植林された領域を推定できたと考えられる。

昭和 45 年以前に植林された領域、すなわち、林齢が 37 年以上の人工林を推定できたことは、木材として利用価値がある林齢が 50 年以上の人工林を十分に特定できる可能性がある。

謝辞

本研究で使用したデータは (財) 宇宙システム開発利用推進機構との共同研究で取得した。

要約

針葉樹林地の詳細な現況把握のために航空機ハイパースペクトル観測を利用して、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センターを対象に衛星マルチスペクトルリモートセンシングと比較し、樹種、間伐状況および植林年数の把握の可能性を検討した。航空機ハイパースペクトルリモートセンシングの特徴は、高空間分解能・高波長分解能である。データ解析では分離度を用いて全データであり 67 バンドから、分類に最適な 6 バンドを選定した。バンド選定においては教師カテゴリーによって多バンドから選定したバンドの組み合わせが異なり、分離度による分類目的に適したバンド選定が重要であることがわかった。土地被覆分類をおこない、針葉樹林地を抽出した。スギ・ヒノキ・マツの 3 種を樹種分類し、これらの分布図を作製した。スギ林においては強度間伐地の特定および植林年数の推定を行った。間伐強度の異なる試験区を対象とした解析では、強度間伐地域と弱度間伐および間伐されていない地域の判別の可能性がみられた。植林図を参考

資料とし、植林年数の推定を試みたところ、樹齢が37年以上の領域では分類結果と植林図に記載されている植林年数との対応がみられた。同一樹種の林分における下層植生の有無や詳細な植林年代の特定などの植生の質的特徴を推定することは困難であったが、航空機ハイパースペクトルデータが針葉樹林における樹種や間伐強度、植林年数の把握に利用できる可能性を示した。

引用文献

- 安藤貴，蜂屋欣二，土井恭次，片岡寛純，加藤善忠，坂口勝美（1968）スギ林の保育形式に関する研究，林業試験場研究報告，209： 1-76.
- 加藤正人，飯坂譲二（2007）航空機ハイパーデータによる針葉樹区分，写真測量とリモートセンシング，46，5： 19-24.
- Namiwa F., S. Sugihara, K. Yabe, G. Saito, C. Yonezawa and S. Odagawa (2009) Changes of forest and grassland area at field science center, Tohoku University using remote sensing and GIS, Proceedings of 30th Asian Conference on Remote Sensing, CD-ROM
- 西脇亜也（1998）川渡農場北山地区における大正2年から平成7年までの82年間の土地利用の変化，川渡農場報告，14： 27-37.
- 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター（2006）要覧：2.
- 林野庁（2010）平成21年度森林・林業白書．<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/21hakusho/index.html>